

나. 마늘의 분광학적 특성 분석 및 영상처리를 위한 필터선정

본 연구에서는 400~1100nm범위에서의 분광 반사 특성을 이용하여, 박피 마늘의 선별에 유의한 파장을 통계패키지(SAS version 6.11, SAS Institute Inc)의 변수선택법(STEPDISC)과 판별분석절차(DISCIM)를 사용하여 선택하였으며 이를 기초로 하여 영상처리를 위한 가시광영역(400~780 nm)에서 대역통과 필터를 선정하였다.

다. 실험장치

마늘 선별을 위해 영상처리장치와 조명장치를 구성하였는데, 영상처리장치는 흑백 CCD 카메라(Model Pulnix TM-545, IT. Inc. USA : MC 5456), 흑백 프레임 그래버(frame grabber)로 PCVision Plus(Imaging Technology Inc. Woburn, Massachusetts 01801, USA), 모니터(Model ECM 1311U, Kitchener, Ontario N2G 4J6, Canada), 그리고 IBM PC/AT 호환기종(80486 CPU 66MHz)인 주컴퓨터로 구성하였다. 선별성능을 향상시키기 위한 방법으로 CCD 카메라의 렌즈 부분에 줌 렌즈(zoom lens) 또는 가시광영역의 대역통과 필터(bandpass filter)를 장착하였다. CCD 카메라에 줌 렌즈 또는 필터를 장착하였으므로 각각의 경우에 적합한 조명장치를 구성하였다. 줌 렌즈를 이용한 실험장치의 경우, 일자형 형광등(20W)을 설치하였으며 시료 위치에서 측정된 조도는 약 880 Lux였다. 필터를 이용한 실험장치의 경우, 카메라에서 감지하는 광량이 상대적으로 적어지므로 조도를 높여주어야만 하기 때문에 삼파장등(20W)을 설치하였으며 시료 위치에서 측정된 조도는 약 2300 Lux였다.

라. 실험방법 및 내용

본 연구에서 사용한 신경회로망은 오류역전파(back-propagation, BP)를 이용하였으며 은닉층의 수를 1개로 하였으며 은닉층 내의 각 유니트 수의 결정은 동일한 결과를 출력하였을 때 유니트 수가 가장 적은 신경회로망 구조를 선택하였다.

줌 렌즈를 사용할 때의 신경회로망에 입력하는 입력데이터는 통계적인 방법에 의해 유의하다고 판단되는 화소치(畫素值, gray level)들의 합으로 하였는데, 이를 직접 입력하기보다 전체 입력데이터에 대한 각 입력데이터가 차지하는 비율로 정규화하여 입력하였다. 신경회로망의 구조는 4-8-5 구조로 하였다. 필터를 사용할 때의 신경회로망에 입력하는 입력데이터는 각 상태별 마늘의 히스토그램이 다수 중복되므로 통계적 방법에 의해 유의한 인자를 선정하기가 매우 어렵기에 전체 히스토그램을 8구간으로 나눈 후 각 구간에 해당하는 화소수의 합을 마늘 전체의 화소수로 나눈 정규화된 학습데이터를 입력데이터로 하였다. 신경회로망의 구조는 8-7-4 구조로 하였다. 신경회로망을 이용한 선별 알고리즘의 선별정도를 분석하였는데 선별정도는 마늘을 육안으로 선별한 결과와 개발된 알고리즘을 이용하여 선별한 결과를 비교하였다.

마. 선별 시스템 구성을 위한 알고리즘 개선

본 연구에서는 상기의 결과를 근거로 2단계 선별 시스템을 구성하고 각 선별 단계에 적합한 선별 알고리즘을 개선하였다. 선별 시스템은 다음과 같은 가정하에 구성되었다.

- ① 공압을 이용한 공기 분사식 배출장치는 최대 3등급까지 분류 가능하다.

- ② 1차 선별에서 상품가치가 있는 것 (건전 및 흠집 마늘), 상품가치가 없는 것 (변색 및 부패 마늘), 그리고 박피기로 반송되어야 할 미박피 마늘을 구분한다.
- ③ 건전 및 흠집 마늘은 2차 선별에 의해 구분 가능하다.

3. 결과 및 고찰

가. 마늘의 분광학적 특성

마늘의 각 상태별 흡광 스펙트럼은 그림 1에서 보는 바와 같이 변색 및 부패 마늘에 대한 흡광 스펙트럼은 전 파장대역에서 다른 마늘들과 쉽게 구별이 되며 건전 마늘, 흠집 마늘, 미박피 마늘의 경우 400 ~ 500nm, 700 ~ 800nm와 900 ~ 1100nm에서 흡광 스펙트럼의 차이가 남을 알 수 있다.

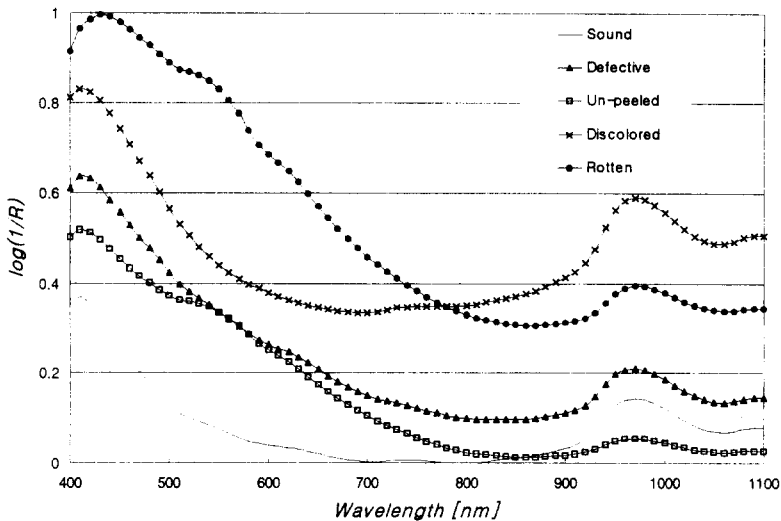


Fig. 1. Absorbance spectra of garlic samples in the range of 400 ~ 1100 nm.

나. 선별 파장 선정 및 영상처리를 위한 필터 선정

마늘의 상태별 판별에 유의한 파장을 선정하기 위하여 통계패키지 SAS의 판별분석의 변수선택법을 수행한 결과 400, 974, 428, 560nm가 순서대로 선택되었다.

따라서, 선별에 가장 유의한 파장은 400nm로 선택될 수 있으나 400 nm는 흡광 스펙트럼이 측정되는 첫 번째 파장이므로 선별파장으로 선택하지 않았다. 두 번째로 선택된 974nm는 수분의 흡수 파장대역에 매우 근접해 있으므로 또한 선별파장으로 선택하기엔 부적합했다. 따라서 세 번째, 네 번째로 선택된 428nm, 560nm를 유의한 선별파장으로 선택한 후, 구체적으로 마늘을 선별하는데 얼마만큼 유의한가를 분석하기 위하여 SAS의 판별분석절차를 수행한 결과, 마늘 선별에 유의한 파장은 428nm로 선정하였다. 따라서 영상처리를 위해 428nm가 중심파장이고 유효밴드 폭이 20nm인 필터를 선정하였다.

다. 기계시각을 이용한 마늘 선별 결과

(1) 줌 렌즈에 의한 영상을 이용한 신경회로망

먼저 영상입력부의 축도를 설정하였는데, 설정된 축도는 가로 $0.2479mm/pixel$, 세로 $0.2073mm/pixel$ 이었다.

학습에 사용된 각 시료별 수는 건전 마늘 42개, 흠집 마늘 30개, 미박피 마늘 30개, 변색 마늘 30개, 부패 마늘 30개로 총 162개였다. 출력 유니트 수는 총 5개로서 각 시료에 따라서 다른 목표값이 출력되도록 하였다. 그러나 실제 선별시 변색 마늘과 부패 마늘은 하나로 분류하여 두 분류사이에 나타나는 선별오류는 무시하였다. 학습된 신경회로망 알고리즘의 선별정도에 사용된 데이터 수는 건전 마늘 30개, 흠집 마늘 20개, 미박피 마늘 30개, 변색 마늘 30개, 부패 마늘 20개로 총 130개였다. 학습데이터에 대한 선별정도는 98.8%로 나타났다으며 신경회로망을 미학습데이터를 이용하여 선별정도를 분석한 결과는 표 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Accuracy of the garlic sorting by neural network algorithm using image obtained with zoom lens. [%]

Manual \ Neural net	Sound	Defective	Un-peeled	Discolored Rotten
Sound	90.0	10.0		
Defective	25.0	75.0		
Un-peeled			93.3	6.7
Useless				100.0

Average accuracy : 92.3 %

(2) 필터에 의한 영상을 이용한 신경회로망

먼저 영상입력부의 축도를 설정하였는데, 설정된 축도는 가로 $0.6297mm/pixel$, 세로 $0.5292mm/pixel$ 로 줌 렌즈보다 약 2.55배 작게 설정되었다.

학습에 사용된 각 시료의 데이터 수는 건전 마늘 50개, 흠집 마늘 100개, 미박피 마늘 50개, 변색·부패 마늘 40개로 총 240개였다. 출력 유니트 수는 건전 마늘, 흠집 마늘, 미박피 마늘, 변색·부패마늘 총 4개이며 학습된 신경회로망 알고리즘의 선별정도에 사용된 데이터 수는 건전 마늘 30개, 흠집 마늘 60개, 미박피 마늘 33개, 변색·부패 마늘 30개로 총 153개였다. 학습데이터에 대한 선별정도는 100%였고 학습된 신경회로망을 미학습데이터를 이용하여 선별정도를 분석한 결과는 표 2에서 보는 바와 같다.

Table 2. Accuracy of the garlic sorting by neural network algorithm using image obtained with bandpass filter. [%]

Neural net Manual	Sound	Defective	Un-peeled	Discolored Rotten
Sound	90.0	6.7	3.3	
Defective	1.65	86.7	10.0	1.65
Un-peeled	6.1	6.1	87.8	
Useless				100.0

Average accuracy : 90.2 %

라. 선별 시스템 구성을 위한 알고리즘 개선

(1) 1차 선별 알고리즘

3개의 부류로 선별하기 위한 신경회로망 선별 알고리즘은 줌 렌즈를 이용한 영상을 사용하였으며 4-4-3 구조로 학습하였다. 학습데이터 수는 건전 및 흠집 마늘 72개, 미박피 마늘 30개, 변색 및 부패마늘 60개로 총 162개를 사용하였다. 선별 정도에 사용한 데이터 수는 건전 및 흠집 마늘 50개, 미박피 마늘 30개, 변색 및 부패 마늘 50개로 총 130개를 사용하여 학습하였으며 학습데이터에 대한 선별정도는 100%로 나타났다. 미학습데이터를 이용하여 개발된 신경회로망 알고리즘을 평가한 결과 표 3에서 보는 바와 같이 선별정도가 98.46%로 대폭 향상됨을 알 수 있다.

Table 3. Accuracy of the garlic sorting by neural network algorithm using image obtained with zoom lens. [%]

Neural net Manual	Sound & Defective	Un-peeled	Discolored Rotten
Sound & Defective	100		
Un-peeled		93.3	6.7
Useless			100

Average accuracy : 98.46 %

(2) 2차 선별 알고리즘

2차 선별에서는 1차 선별에서 동일 부류로 선별된 건전 마늘과 흠집 마늘을 다시 분류하기 위한 신경회로망 알고리즘은 필터를 이용한 영상을 사용하였으며 8-6-2 구조의 신경회로망을 사용하였다. 학습데이터 수는 건전 마늘 55개, 흠집 마늘 110개였고 선별정도에 사용한 데이터 수는 건전 마늘 30개, 흠집 마늘 60개로 총 90개를 사용하였다. 학습데이터에 대한 선별정도는 100%로 나타났다. 미학습데이터를 이용하여 개발된 신경회로망 알고리즘

을 평가한 결과 표 4에서 보는 바와 같이 선별정도가 95.56%로 대폭 향상됨을 알 수 있다.

Table 4. Accuracy of the garlic sorting by neural network using image obtained with bandpass filter. [%]

Manual \ Neural net	Sound	Defective
Sound	96.7	3.3
Defective	5.0	95.0

Average accuracy : 95.56 %

4. 요약 및 결론

가. 400~1100nm내에서 상태별 마늘의 분광 반사율의 차이는 400~500nm에서 가장 크게 나타났으며, 가장 적합한 선별 파장은 428nm인 것으로 분석되었다.

나. 줌 렌즈를 사용한 영상에 대한 신경회로망의 구조는 4-8-5로 하였고 입력데이터로 각 상태별로 유의한 화소치의 합을 전체 유의한 화소치 합으로 정규화하여 사용하였으며 선별정도를 분석한 결과 92.3%로 나타났으나, 흠집 마늘의 선별정도가 75%로 낮게 나타났다.

다. 중심파장이 428nm인 필터를 사용한 영상에 대한 신경회로망의 구조는 8-7-4로 하였고 입력데이터는 화소치를 8구간으로 나눈 후, 각 구간에 해당하는 화소수를 더한 값을 마늘의 영상에 해당하는 화소수로 정규화하여 사용하였으며 선별정도를 분석한 결과 90.2%로 나타났다.

라. 배출 시스템을 고려한 박피 마늘 선별 시스템은 줌 렌즈를 사용한 영상처리장치에 신경회로망을 적용하여 건전 마늘 및 흠집 마늘, 미박피 마늘, 변색 및 부패 마늘로 3부류 선별하는 1차 시스템과 중심파장이 428nm인 필터를 사용한 영상처리장치에 신경회로망을 적용하여 1차 시스템에서 동일 부류로 간주된 건전 마늘과 흠집 마늘을 다시 재분류하는 2차 시스템으로 구성해야 할 것으로 판단되었다. 1차 시스템에서의 신경회로망 구조는 4-4-3, 2차 시스템은 8-6-2로 하여 선별정도를 분석한 결과 각각 98.44% 및 95.56%로 나타나 정확도가 높은 선별 시스템의 개발이 가능할 것으로 판단되었다.

마. 정지상태의 마늘에 대해 영상을 획득하여 신경회로망을 통해 마늘의 종류를 선별하기 까지 걸리는 시간은 약 14개/초정도이다.

5. 참고문헌

- (1) 김기영, 전명식 共著. 1994. SAS 판별 분석 및 분류분석. 자유아카데미.
- (2) 김대수. 1995. 신경망 이론과 응용 (I), (II). 하이테크정보.
- (3) 김철진 외. 1993. 마늘의 박피시스템 개발에 관한 연구. 연구보고서. 한국식품개발연구원.
- (4) 황창선. 1996. 영상처리를 이용한 현미의 품위판별 알고리즘 개발. 서울대학교 석사학위 논문.